

光学赤外線望遠鏡 光学系材料について

Glass Material for Large Telescope Optics

林 左絵子 (国立天文台 TMT 推進室)

Saeko S. Hayashi (TMT-Japan, National Astronomical Observatory of Japan)

概要

すばる望遠鏡建設時に比べ、光学系材料の選択肢が増えてきた。冷却を必要とする観測装置の光学素子にも様々な材料が使われている。大型の反射鏡に使われている鏡材ガラスのうち、本報告では現在（および近未来に）使用されている代表的な材料について特性の一部をまとめた。今後、長期運用での問題点を洗い出したいと考えている。

望遠鏡光学系の硝材には次の性質が求められる。

1. 形状の長期安定性
2. 高精度研磨が可能である（加工性）
3. 大量に必要とする場合、実際の入手性（価格、納期）

このうち1番の項目のブレイクダウンは：

- もともと熱膨張率がきわめて低い
- もともと均一性が高い（ように作ることができる）
- 環境と反応して劣化をすることがない
- 化学耐性がある（特に注意が必要なのは再コーティング時に、古い反射膜を剥離する際）



ULE 鏡材の例（すばる望遠鏡）

反射式望遠鏡主鏡の主な硝材と、その選定理由の第1要素に挙げられることが多い CTE (線熱膨張率) を次の表に示す。

硝材	使用例	線熱膨張率 ppb/°C
オハラ クリアセラム (ガラスセラミック)	京大 3.8 m 新技術望遠鏡 TMT	0.0 ± 2x10 (カタログ値)
コーニング ULE (アモルファス)	かなた望遠鏡、すばる望遠鏡 Gemini North & South CLASP、ハッブル宇宙望遠鏡	Mean 0 ± 30 (5-35 °C, ULE 7972) (カタログ値)
ショット ゼロデュア (ガラスセラミック)	なゆた望遠鏡 VLT x 4, EELT Keck x 2 そのほか多数	-17 to -43 (VLT blanks) (文献 1)
オハラ E6 (ホウケイ酸ガラス)	TAO (mini TAO も?) LBT 8.4 m x 2, Magellan 6.5 m x 2 LSST, GMT	52 (文献 2)
パイレックス (ホウケイ酸ガラス)	岡山 188 cm, 91 cm かつての堂平 91 cm パロマー山の 5 m そのほか多数	325 x 10 (文献 3)

参考文献

1: VLT の Web ページ

<https://www.eso.org/sci/publications/messenger/archive/no.86-dec96/messenger-no86-9-11.pdf>

2: Appl Opt. 1984 Dec 1;23(23):4237-44.

Thermal expansion uniformity of materials for large telescope mirrors.

Jacobs SF1, Shough DM, Connors CJ.

3: <http://www.valleydesign.com/pyrex.htm>, <http://www.fpi-protostar.com/bgreeser/properties.htm>

反射面を構成するコーティングに影響する環境要因としては、次のようなものがある。

- 環境土壌（火山性の砂塵など）＋湿気 ＝ 酸性（土壌および／または湿気が）
- ディーゼル油煙 ＝ イオウ含む
- 花粉、樹脂
- 機械油（ドームや望遠鏡上部構造のグリースなど）

金属コーティングの場合、酸性物質が付着すると腐食により右図のようなピンホールを形成する。そうした腐食は長い間に少しずつ広がってしまう。汚れは早めにとることが肝心。砂塵などは付着してすぐ、まだ乾いた状態のうちにCO2クリーニングなどで取り除くことが運用上、重要である。しかし花粉や油系の汚れは、高圧ガスによる吹き飛ばしやCO2による清掃でも取り除くことができず、やっかいである。どのような原因の汚れであっても、再コーティングにより、鏡面の良い反射性能を取り戻すことができる。



それでは古いコーティングを剥がす際に用いる薬品と硝材の相性はどうか。実際に使われている例を次の表にまとめた。すばる望遠鏡主鏡は8回のコーティングを経たが、薬品による顕著な影響は認められない。またE6を使用しているLBTでも、薬品による影響は見られないとのことである。

硝材	アルカリ	酸
クリアセラム	確認したもの：塩酸（＋硫酸銅）、水酸化ナトリウム、重曹、炭酸カルシウム、硝酸（いずれも薬品単体、金属膜なしでの実験）	
ULE		<ul style="list-style-type: none"> • 塩酸でアルミ剥離 • 過塩素酸を含む薬品でクロム剥離
ゼロデュア		<ul style="list-style-type: none"> • 塩酸でアルミ剥離
E6		<ul style="list-style-type: none"> • アルミ剥離に酸を使用
パイレックス	<ul style="list-style-type: none"> • 水酸化ナトリウムでアルミ剥離 	

次に機械的な強度に関する留意事項を挙げる。

- 未処置欠陥の伝搬
 - 加工工程経験を運用世代に伝える
 - 衝撃
 - 繰り返し荷重
- 金属との接着（右図は実験の例）
 - 衝撃時にガラスと接着剤どちらが勝つか
 - 気温や湿度の変化
 - 接着剤の経年変化
 - 運用からの経験を次世代に生かす



ここに挙げた項目以外にも、大型鏡材の長期運用における経験と課題が各所で積み上がって来ているので、適切に情報共有ができることを願っている。

この報告の背景には、国立天文台の職員に限らず、ものづくり日本を支えているメーカーの方々も含めて、野辺山宇宙電波観測所の45m望遠鏡、ハワイのすばる望遠鏡やTMTに関わって来た多くの皆様のご努力があります。深く敬意と感謝を表す次第です。